

干旱胁迫对香蒲生长和叶绿素荧光参数的影响

吴晓东¹, 王国祥^①, 李振国^{1,2}, 夏劲¹, 魏宏农¹, 许宽¹, 周锋¹ (1. 南京师范大学地理科学学院/江苏省环境演变与生态建设重点实验室, 江苏南京 210046; 2. 湖南科技大学建筑与城乡规划学院, 湖南湘潭 411201)

摘要: 采用野外调查方法,研究了不同土壤含水量条件下香蒲植株的形态、生物量、叶绿素含量和叶绿素荧光参数的变化。结果表明:(1)土壤含水量对香蒲株高影响显著,轻度、中度和重度干旱处理香蒲株高分别下降为对照(土壤水分始终饱和)的90.90%、68.19%和63.64%。(2)香蒲茎直径、叶长、叶宽和叶绿素含量均随土壤含水量的降低而呈递减趋势,枯叶率却明显增加。(3)不同土壤含水量条件下香蒲密度和生物量差异均达显著水平($P < 0.05$)。轻度、中度和重度干旱组香蒲密度分别比对照下降41.67%、53.33%和66.67%;而对照香蒲单株生物量分别为轻度、中度和重度干旱组的2.25、5.54和7.45倍。(4)香蒲叶片最大光量子产量(F_v/F_m)和最大相对电子传递速率($R_{e,t,max}$)随土壤含水量的减少而明显降低。干旱降低了香蒲叶片光系统II(PS II)的光化学效率,抑制了香蒲的生长。

关键词: 土壤含水量; 香蒲; 生长; 叶绿素荧光参数

中图分类号: Q945; Q948 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4831(2012)01-0103-05

Effects of Drought Stress on Growth and Chlorophyll Fluorescence Parameters of *Typha orientalis*. WU Xiaodong¹, WANG Guo-xiang¹, LI Zhen-guo^{1,2}, XIA Jin¹, WEI Hong-nong¹, XU Kuan¹, ZHOU Feng¹ (1. College of Geographical Science, Nanjing Normal University/ Jiangsu Key Laboratory of Environmental Change and Ecological Construction, Nanjing 210046, China; 2. School of Architecture and Urban Planning, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: Field surveys were carried out to explore effects of soil moisture on morphology, biomass, chlorophyll content and chlorophyll fluorescence parameters of *Typha orientalis*. Results show that (1) soil water content significantly affected plant height of *T. orientalis*, which was 90.90%, 68.19% and 63.64% of that in the control group (soil water saturation), when the plants were exposed to light, moderate and heavy drought stress, respectively; (2) stem diameter, leaf length, leaf width and chlorophyll content in the leaf decreased with the decreasing soil moisture content, while percentage of withered leaves significantly increased; (3) treatments different in soil moisture content differed sharply ($P < 0.05$) in density and biomass of *T. orientalis*, and density of the plants decreased by 41.67%, 53.33% and 66.67% in the treatment of light, moderate and heavy drought stress, respectively, while biomass of a single plant in the control was 2.25, 5.54 and 7.45 times that in the treatment of light, moderate and heavy drought stress, respectively; and (4) the maximum quantum yield of the leaves (F_v/F_m) and maximum electron transport rate ($R_{e,t,max}$) decreased significantly with the decreasing soil moisture content; and drought reduced photochemical efficiency of the PS II of leaves, thus inhibiting the growth of *T. orientalis*.

Key words: soil moisture content; *Typha orientalis*; growth; photosynthetic fluorescence

江苏泗洪洪泽湖湿地自然保护区位于洪泽湖西北部,是目前江苏省最大的淡水湿地自然保护区。自2011年1月以来,洪泽湖地区降水严重偏少,为近60 a来最小值。湿地保护区遭遇严重干旱,大片水域变成裸露的滩地。水是湿地生态系统中最重要环境因子之一,不仅直接影响湿地植物的生长发育,而且影响湿地生态系统结构、功能的稳定性^[1]。当植物耗水大于吸水时,植物组织内水分亏缺。过度水分亏缺使植物正常生理活动受干扰的现象称为干旱^[2],而干旱是影响植物生长发育

的重要逆境因子,也是决定植被地理分布和限制作物产量的主要因素^[3]。

香蒲(*Typha latifolia*)为香蒲科香蒲属多年生挺水植物,喜浅水湿地,在我国华北、东北、华中及华南等地区广泛分布^[4],是洪泽湖湿地的常见植物。自20世纪80年代起,已有学者开始研究香蒲的生

收稿日期: 2011-09-13

基金项目: 科技部国际合作重大项目(2010DFB33960)

① 通信作者 E-mail: wangguoxiang@njnu.edu.cn

物学特性^[5-7];香蒲具有较好的医用价值^[8],其根际效应明显^[9-10],是净化污水^[11-15]和吸收重金属^[16-17]的优良湿地植物。近年来,环境因子胁迫条件下香蒲的生长和生理特征也引起了一些学者的关注。苏芳莉等^[18]研究发现,盐胁迫下香蒲植株内蔗糖、脯氨酸、丙二醛(MAD)含量增加,超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性增强,而超氧化物阴离子(O₂⁻)含量减少。有关香蒲在干旱胁迫下的生长特征及叶绿素荧光参数变化研究尚鲜见报道。

笔者通过调查干早期洪泽湖湿地香蒲群落的生长情况,并利用饱和脉冲叶绿素荧光仪(DIVING-PAM)快速、无损伤测定香蒲叶片叶绿素荧光参数,研究香蒲在不同土壤含水量条件下形成的独特形态和光合特征,揭示香蒲对于干旱因子的生理生态响应机制,从而为湿地生态系统保育和植被恢复重建提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

调查区域位于江苏省泗洪洪泽湖湿地自然保护区(33°14′10.60″ N, 118°19′40.57″ E)。选取香蒲分布区中由浅水区域到裸露滩地的典型断面。设土壤水分始终饱和(对照)、轻度干旱、中度干旱和重度干旱4个水分条件,其对应的土壤含水量分别为(900 ± 50)、(400 ± 40)、(300 ± 40)和(150 ± 20) g · kg⁻¹。

1.2 形态学指标测定

原位测定香蒲的高度、茎直径、叶片数、枯叶数、叶长、叶宽,各指标求平均值之后进行比较。每个土壤含水量组收割9株完整香蒲植株,现场称量鲜质量,计算单株生物量平均值。枯叶率的计算公式:枯叶率 = 枯叶数/叶片总数 × 100%。

1.3 土壤含水量和香蒲叶片叶绿素含量的测定

用便携式土壤水分测量仪(TRIME-PICO64)

测定土壤含水量。采用 Arnon 法^[19]测定叶片叶绿素含量,每个土壤含水量组随机选取3株香蒲,取植株顶端以下第3片叶进行测定。

1.4 叶片叶绿素荧光参数的测定

每个土壤含水量组随机选择5株香蒲,测定植株顶端以下第2片叶的荧光参数,所得数据取平均值。于2011年6月20日7:00—8:00使用水下饱和脉冲叶绿素荧光仪(德国Walz公司)和数据采集软件Wincontrol进行测定。连体叶片经暗适应5 min后,打开叶夹,开启检测光(光合有效辐射强度为0.15 μmol · m⁻² · s⁻¹)得到F₀,再由饱和脉冲光(光合有效辐射强度为4 000 μmol · m⁻² · s⁻¹, 0.8 s)测得F_m。最大光化学量子产量F_v/F_m的计算公式:F_v/F_m = (F_m - F₀)/F_m。

1.5 叶片快速光响应曲线

用叶绿素荧光仪测定香蒲叶片的快速光响应曲线。测定时间为2011年6月20日7:00—8:00,逐渐开启光化光,光合有效辐射强度分别为90、122、180、242、359、512、735和1 160 μmol · m⁻² · s⁻¹,时间间隔为10 s,所得数据取平均值,并绘出快速光响应曲线。

1.6 数据分析

采用SPSS 13.0统计软件对不同土壤含水量组之间某指标进行单因素方差分析,P < 0.05表示差异显著,P < 0.01表示差异极显著。采用最小显著差数(LSD)检验法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同土壤含水量对香蒲株高的影响

由表1可知,不同土壤含水量条件下香蒲株高存在明显差异。对照香蒲平均株高为2.20 m,轻度干旱组株高为对照的90.91%,而中度和重度干旱组株高则明显降低,分别仅为对照的68.19%和63.64%。对照与中度、重度干旱组间株高均存在显著差异(P < 0.05)。

表1 不同土壤含水量对香蒲株高、茎、叶和叶绿素含量的影响

Table 1 Effects of soil moisture content on plant height, stem and leaves of *Typha orientalis* and chlorophyll content of its leaves

不同土壤含水量组	株高/ m	茎直径/ cm	叶长/ m	叶宽/ cm	枯叶率/ %	叶绿素含量/ (mg · g ⁻¹)
对照	2.20 ± 0.37 ^a	3.46 ± 0.28 ^a	1.85 ± 0.32 ^a	1.72 ± 0.25 ^a	0.00 ± 0.00 ^a	3.86 ± 0.29 ^a
轻度干旱	2.00 ± 0.26 ^a	3.22 ± 0.45 ^a	1.70 ± 0.28 ^a	1.18 ± 0.40 ^b	5.56 ± 0.60 ^b	3.21 ± 0.43 ^a
中度干旱	1.50 ± 0.32 ^b	2.66 ± 0.48 ^b	1.20 ± 0.47 ^b	0.83 ± 0.42 ^b	14.55 ± 1.55 ^c	2.73 ± 0.21 ^b
重度干旱	1.40 ± 0.45 ^b	1.98 ± 0.60 ^c	0.98 ± 0.38 ^b	0.60 ± 0.32 ^c	39.29 ± 1.14 ^d	1.18 ± 0.37 ^c

数据为平均值 ± 标准差, n = 3。同一列英文小写字母不同表示不同土壤含水量组间某指标差异显著(P < 0.05)。

2.2 不同土壤含水量对香蒲茎、叶和叶绿素含量的影响

由表1可知,随着土壤含水量的降低,香蒲茎直径呈下降趋势,轻度干旱组较对照下降6.94%;中度和重度干旱组则大幅下降,分别为对照的76.88%和57.23%。不同土壤含水量组间香蒲的叶长、叶宽存在明显差异。对照叶片最长,为1.85 m,轻、中度干旱组叶长下降为1.70、1.20 m,而重度干旱组仅为0.98 m。叶宽的变化趋势与叶长类似。随着土壤含水量的降低,香蒲枯叶率在增加。轻度干旱组枯叶率为5.56%,中度干旱组迅速上升为14.55%,重度干旱组枯叶率达39.29%。

随着土壤含水量的减少,香蒲叶片叶绿素含量呈降低趋势(表1)。与对照相比,轻度和中度干旱组叶片叶绿素含量分别下降16.84%和29.28%,重度干旱组仅为1.18 mg·g⁻¹,较对照下降69.44%。

2.3 不同土壤含水量对香蒲密度和生物量的影响

由表2可知,不同土壤含水量条件下香蒲密度有明显差异。对照香蒲密度为60株·m⁻²,而轻度、中度和重度干旱组分别比对照下降41.67%、53.33%和66.67%。随着土壤含水量的减少,各土壤含水量组香蒲单株生物量明显降低。对照生物量(以鲜质量计)为360 g,而轻度、中度和重度干旱胁迫组分别仅为160、65和48 g。经方差检验,对照分别与各干旱胁迫组间生物量差异达显著水平(P<0.05)。

表2 不同土壤含水量对香蒲密度和生物量的影响

Table 2 Effects of soil moisture content on density and biomass of *Typha orientalis*

不同土壤含水量组	密度/(株·m ⁻²)	生物量/g
对照	60±2.50 ^a	360±3.16 ^a
轻度干旱	35±1.83 ^b	160±3.65 ^b
中度干旱	28±2.66 ^c	65±3.11 ^c
重度干旱	20±3.21 ^c	48±2.15 ^c

数据为平均值±标准差,n=3。同一列英文小写字母不同表示不同土壤含水量组间某指标差异显著(P<0.05)。

2.4 不同土壤含水量对香蒲叶片叶绿素荧光参数的影响

2.4.1 不同土壤含水量条件下香蒲叶片的最大光化学量子产量比较

随着土壤含水量的减少,香蒲叶片PS II的F_v/F_m显著下降(图1)。由于水分充足,对照香蒲叶片的F_v/F_m达0.82,而轻度、中度和重度干旱组分别比对照下降9.76%、18.29%和23.17%。

2.4.2 不同土壤含水量条件下香蒲叶片的快速光

响应曲线

香蒲叶片快速光响应曲线(RLC)见图2。当光合有效辐射强度为90 μmol·m⁻²·s⁻¹时,不同土壤含水量组间香蒲叶片最大相对电子传递速率(R_{e,t,max})已出现差异,即随土壤含水量的下降而减小。当光合有效辐射强度为512 μmol·m⁻²·s⁻¹时,对照香蒲叶片R_{e,t,max}为36.4 μmol·m⁻²·s⁻¹,分别为轻度、中度和重度干旱组的1.27、1.81和2.29倍,差异达显著水平(P<0.05)。

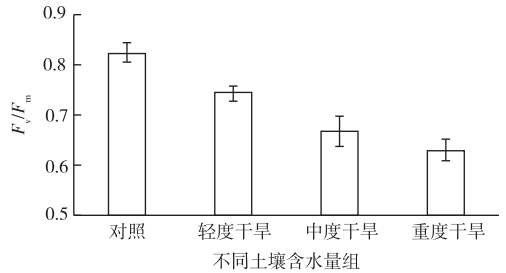


图1 不同土壤含水量对香蒲叶片最大光化学量子产量(F_v/F_m)的影响

Fig. 1 Effects of soil moisture content on F_v/F_m of *Typha orientalis*

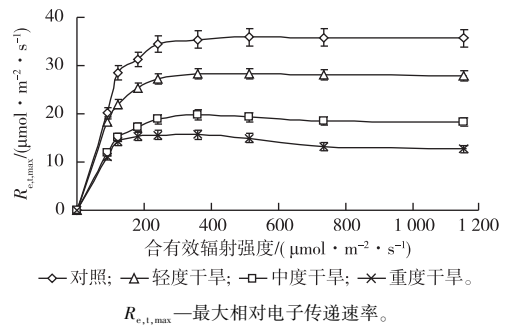


图2 不同土壤含水量对香蒲快速光响应曲线的影响

Fig. 2 Effect of soil moisture content on rapid-light curves of *Typha orientalis*

3 讨论

土壤水分是湿地植物光合作用不可缺少的重要因子。在植物生长发育过程中,干旱胁迫是各种环境胁迫中最普遍的逆境因子之一。在一定干旱胁迫阈值(drought threshold)范围内,很多植物能够进行相关抗旱基因的表达,随之产生一系列生理、生化及形态结构等方面的变化,从而表现出抗旱性的综合性状^[20]。

笔者研究结果表明,不同土壤含水量条件下香

蒲生长状况差异明显,香蒲主要生长生理指标与土壤含水量间呈较好的线性相关(表3)。其中,香蒲株高、茎直径、叶长、叶宽、 F_v/F_m 和 $R_{e,t,max}$ 与土壤含水量间呈显著正相关($P < 0.05$),密度和鲜质量与土壤含水量间呈极显著正相关($P < 0.01$)。土壤含水量越低,这些指标值就越小。而枯叶率则与土壤含水量间呈负相关,但未达显著水平($P > 0.05$)。

表3 植物生长生理指标(y)与土壤含水量(x)间的相关性分析

Table 3 Correlation analysis of the physiological indicators (y) of growth of the plant with soil moisture content (x)

植物生长生理指标	a	b	r ²	P 值
密度	0.497 4	10.508 0	0.999 3	0.00
株高	0.010 1	1.256 3	0.828 3	0.01
茎直径	0.016 4	1.988 6	0.757 8	0.04
叶长	0.010 5	0.895 2	0.788 1	0.04
叶宽	0.014 0	0.358 0	0.972 4	0.01
枯叶率	-0.406 5	35.686 0	0.661 5	0.07
叶绿素含量	0.019 4	0.741 9	0.787 0	0.05
鲜质量	4.085 5	-51.056 0	0.982 3	0.00
F_v/F_m	0.002 4	0.593 9	0.941 6	0.01
$R_{e,t,max}$	0.256 1	11.925 0	0.933 0	0.01

x 与 y 的回归方程为 $y = ax + b$ 。 F_v/F_m 为最大光化学量子产量; $R_{e,t,max}$ 为最大相对电子传递速率。

香蒲的生境主要位于池塘、湖泊岸边等湿地浅水处。随着土壤含水量的降低,植物可利用的水分减少,香蒲通过调整其生理生化活动以适应干旱环境。叶绿素的形成除了受光、温及养分影响外,也受到水分条件的影响^[1]。香蒲叶片叶绿素随土壤含水量的降低而显著降低,主要原因是水分亏缺导致积累的过量光能不能用于 CO_2 固定,使各种细胞器,特别是叶绿体和线粒体受到伤害所致^[21-22]。此外,干旱胁迫还会促进已合成的叶绿素分解,使其含量下降。叶绿素含量降低可减少叶片对光子的捕获,降低光合机构遭受光氧化破坏的风险,也是植物适应干旱和强光胁迫的一种光保护调节机制^[2]。

叶绿素含量间接影响植物叶片的光合能力。叶绿素荧光参数与光合作用中各种反应过程密切相关,任何环境因子对光合作用的影响都可通过叶片叶绿素荧光动力学反映出来^[23]。叶绿素荧光参数是评估 PS II 状态良好与否的指标。在逆境条件下,当光能吸收量超过光化学反应的利用量,且过剩的光能得不到耗散时,就会引起光合机构的破坏,其原初损伤部位在 PS II 上^[23]。 F_v/F_m 反映了当所有的 PS II 反应中心均处于开放态时的量子产量,

即 PS II 反应中心内的光能转化效率^[24-25]。非胁迫条件下该参数变化极小,胁迫条件下该参数明显下降^[26]。叶绿素含量降低,集光色素捕获的光子减少,使 PS II 光反应中心有效光能转化效率下降,从而导致 F_v/F_m 下降。快速光响应曲线可反映电子传递速率随光合有效辐射强度的变化而变化的状况,测定快速光响应曲线可以确定香蒲叶片的实际光化学效率。在光响应曲线中,初始几分钟光照时间内的曲线变化具有重要的决定意义^[27]。轻度、中度和重度干旱组香蒲叶片 $R_{e,t,max}$ 显著降低,原因是干旱降低了光反应中心的开放程度,进而影响了光反应中心稳定的电荷分离,从而抑制光合电子传递能力,使 PS II、PS I 和全链电子传递速率明显降低^[28]。综上分析,干旱条件下香蒲叶片叶绿素含量减少,最大光化学效率和电子传递能力降低,导致光合效率下降。

香蒲叶绿素含量和叶片光合效率等生理指标改变,使植株形态和生物量发生明显变化。GRIME^[29] 与 TILMAN^[30-31] 认为,当环境中有限资源量下降到一个谷点,具有最小资源需要量的个体将在环境中生存。在土壤水分缺乏情况下,香蒲优先将水分用于成株的生长,从而使分蘖数减少。叶片光合效率下降,减缓了植株生长速率,导致香蒲株高、叶长、叶宽和茎直径等指标值显著减小,这也有利于减少水分的蒸腾。同时,将水分优先用于中上层叶片的生长,导致叶片数减少和枯叶率增加,从而利用有限的水分维持生命活动。香蒲在逆境条件下的形态学变化,是其在干旱胁迫下存活的主要原因。土壤中的水分对其生物量的积累极其重要,只有当水分饱和时,香蒲的生物量积累才最高。香蒲生物量随土壤含水量降低而显著减少,这是因为土壤中可利用的水分减少会引起叶肉组织含水量下降^[32],叶面积变小,枯叶数增加,从而降低叶片光合效率,使香蒲株高、茎直径等受到抑制,进而导致生物量积累下降;同时由于植株在土壤含水量低的情况下,根系对水分和养分吸收受到影响,使各器官的生长发育受到限制,光合面积减小,生长速率降低,进而造成香蒲生物量的减少^[33]。

4 结论

土壤含水量减少,首先影响香蒲生理生化活动,叶绿素含量、 F_v/F_m 和 $R_{e,t,max}$ 降低,使叶片光合效率下降,进而导致植株形态学指标发生变化。香蒲光合效率下降,其株高、茎直径、叶长、叶宽和密度等指标明显减小,枯叶率增加。同时,植株根系

生长受到抑制,使其生物量积累明显减少。可见,干旱胁迫明显抑制了香蒲的生长。

参考文献:

- [1] 刘玉,王国祥,潘国权. 地下水位对芦苇叶片生理特征的影响[J]. 生态与农村环境学报,2008,24(4):53-56,62.
- [2] 曹响,王国祥. 土壤水分含量对菖蒲(*Acorus calamus*)萌发及幼苗生长发育的影响[J]. 生态学报,2007,27(5):1748-1755.
- [3] 曹响,王国祥,张聃. 干旱对芦苇幼苗生长和叶绿素荧光的影响[J]. 干旱区地理,2008,31(6):862-869.
- [4] 郝洪波. 优良水生观赏植物:香蒲[J]. 农业科技通讯,2004(11):25.
- [5] 王永卫,周荣刚. 香蒲的生物学特性及其防除研究[J]. 百泉农专学报,1986,14(1):22-28.
- [6] 胡光珍. 香蒲细胞色素 b5 基因的克隆和功能研究[D]. 上海:华东师范大学,2005.
- [7] 郭长城,胡洪营,李锋民,等. 湿地植物香蒲体内氮、磷含量的季节变化及适宜收割期[J]. 生态环境学报,2009,18(3):1020-1025.
- [8] 余红芳,杜丽丽,刘晓秋. 香蒲的综合利用[J]. 中国现代中药,2007,9(9):31-34,38.
- [9] 唐利,杨奇,邱江平,等. 芦苇、香蒲根际分泌物及其根际效应比较分析[J]. 哈尔滨商业大学学报:自然科学版,2010,26(4):425-429.
- [10] 项学敏,宋春霞,李彦生,等. 湿地植物芦苇和香蒲根际微生物特性研究[J]. 环境保护科学,2004,30(4):35-38.
- [11] 成水平,况琪军,夏宜争. 香蒲、灯心草人工湿地的研究: I. 净化污水的效果[J]. 湖泊科学,1997,9(4):351-358.
- [12] 孙焕顷,白丽荣. 不同时期香蒲对衡水湖水质的影响[J]. 衡水学院学报,2010,12(1):63-65.
- [13] 孙焕顷,范玉贞. 香蒲对水体的净化效应[J]. 安徽农业科学,2007,35(21):6576-6582.
- [14] 杨长明,顾国泉,邓欢欢,等. 风车草和香蒲人工湿地对养殖水体磷的去除作用[J]. 中国环境科学,2008,28(5):471-475.
- [15] 温志良,温琰茂,吴小锋. 香蒲植物在污水治理中的应用[J]. 环境与开发,1999,14(4):28-30.
- [16] 大宇(Muhammad Dawood). 香蒲耐铬毒生理机理及其螯合剂诱导植物萃取污染土壤中重金属的研究[D]. 杭州:浙江大学,2008.
- [17] 张巽,卢雪峰,李冀. 香蒲对硒元素的富集及对氮、磷的吸收作用[J]. 科技通报,2002,18(6):511-514.
- [18] 苏芳莉,王铁良,王政,等. 不同浓度 NaCl 处理对芦苇和香蒲叶片某些生理特性的影响[J]. 云南农业大学学报,2009,24(2):302-306.
- [19] ARNON D I. Copper Enzymes in Isolated Chloroplasts Polyphenol-oxidase in *Beta vulgaris*[J]. Plant Physiology,1949,24(1):1-15.
- [20] 赵雅静,翁伯琦,王义祥,等. 植物对干旱胁迫的生理生态响应及其研究进展[J]. 福建稻麦科技,2009,27(2):45-50.
- [21] 刘祖祺,张石城. 植物抗性生理学[M]. 北京:中国农业出版社,1994:90-91.
- [22] 刘艳,黄乔乔,马博英,等. 高温干旱胁迫下香根草光合特性等生理指标的变化[J]. 林业科学研究,2006,19(5):638-642.
- [23] 惠红霞,许兴,李前荣. 外源甜菜碱对盐胁迫下枸杞光合功能的改善[J]. 西北植物学报,2003,23(12):2137-2142.
- [24] 王文林,王国祥,李强,等. 水体浊度对菹草(*Potamogeton crispus*)幼苗生长发育的影响[J]. 生态学报,2006,26(11):3586-3593.
- [25] ÖGREN E. Prediction of Photoinhibition of Photosynthesis From Measurements of Fluorescence Quenching Components[J]. Planta,1991,184(4):538-544.
- [26] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J]. 植物学通报,1999,16(4):444-448.
- [27] SCHREIBER U,GADEMANN R,RALPH P J,*et al.* Assessment of Photosynthetic Performance of Prochloron in *Lissoclinum patella* in Hospite by Chlorophyll Fluorescence Measurements[J]. Plant and Cell Physiology,1997,38(8):945-951.
- [28] 张其德. 干旱胁迫对光合作用的影响[J]. 植物杂志,1997(3):30-32.
- [29] GRIME J P. Plant Strategies and Vegetation Processes[M]. London:Wiley,1979.
- [30] TILMAN D. Plant Strategies and the Structure and Dynamics of Plant Communities[M]. Princeton NJ, USA: Princeton University Press,1988.
- [31] TILMAN D. Resource Competition and Community Structure[M]. Princeton NJ, USA: Princeton University Press,1982.
- [32] 关保华,葛滢,樊梅英,等. 华荇苳响应不同土壤水分的表型可塑性[J]. 生态学报,2003,23(2):259-263.
- [33] 苏丹,孙国峰,张金政,等. 水分胁迫对费菜和长药八宝生长及生物量分配的影响[J]. 园艺学报,2007,34(5):1317-1320.

作者简介: 吴晓东(1985—),男,福建宁化人,硕士生,主要研究方向为水环境生态修复。E-mail: wuxd03@163.com

敬告读者·作者

为适应我国信息化建设需要,扩大作者学术交流渠道,本刊已被“CNKI 中国期刊全文数据库”、CEPS、CA、BA、BI-OSIS、CABI 等多家文摘和数据库收录,其作者文章著作权使用费与本刊稿酬一次性给付,不再另付。本刊发表文章的著作权归作者所有,编辑版权属本刊所有。本刊有权将其编辑的刊物制成光盘或供其他正式出版的光盘收录。如作者不同意文章被收录,请在来稿时向本刊声明,本刊将作适当处理,否则视为同意。

本刊编辑部
2012年1月6日